

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 199 56 654 A 1**

51 Int. Cl.7:  
**B 81 C 1/00**

21 Aktenzeichen: 199 56 654.2  
22 Anmeldetag: 25. 11. 1999  
43 Offenlegungstag: 7. 6. 2001

71 Anmelder:  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

72 Erfinder:  
Quenzer, Hans-Joachim, Dipl.-Phys., 25524 Itzehoe,  
DE; Merz, Peter, Dipl.-Ing., 25557  
Hanerau-Hademarschen, DE; Schulz, Arne Veit,  
Dipl.-Ing., 22457 Hamburg, DE

56 Entgegenhaltungen:

US 58 76 642  
US 56 23 368  
EP 05 67 896 A1

QIN, DONG et. al.: Microfabrication, Micro-  
structures and Microsystems, In: Microsystem  
Technology in Chemistry and Life Sciences,  
Springer Verlag 1998, pp. 1-20;  
SCHULZE, J. et. al.: Compact self-aligning  
assemblies with refractive mirrorlens arrays  
made by contactless embossing, In: SPIE 3289  
(1998), pp. 22-32;  
CORMAN, T. et. al.: Low-pressure encapsulated  
recomant structures..., In: Sensors and Actu-  
ators A66(1998), pp. 160-166;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zur Herstellung von mikromechanischen und mikrooptischen Bauelementen aus glasartigen Materialien

57 Vorgeschlagen wird ein Verfahren zur Strukturierung von Oberflächen glasartiger Materialien und Abwandlungen des Verfahrens, bestehend aus den Verfahrensschritten Bereitstellen eines Halbleitersubstrats (2), Strukturierung mit Vertiefungen (4), mindestens einer Oberfläche des Halbleitersubstrats, Bereitstellen eines Substrats aus glasartigem Material (3), Verbinden des Halbleitersubstrats mit dem Substrat aus glasartigem Material, wobei eine strukturierte Oberfläche des Halbleitersubstrats mit einer Oberfläche des glasartigen Substrats mindestens teilweise überdeckend zusammengeführt wird und die verbundenen Substrate durch Tempern derart erhitzt werden, dass ein Hineinfließen des glasartigen Materials in die Vertiefungen der strukturierten Oberfläche des Halbleitersubstrats stattfindet. Die Verfahrensvarianten eignen sich insbesondere zur Herstellung von mikrooptischen Linsen und mikromechanischen Bauteilen, wie Mikrorelais oder Mikroventilen.

DE 199 56 654 A 1

DE 199 56 654 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von mikromechanischen und mikrooptischen Bauelementen und/oder Funktionselementen aus glasartigen Materialien, welches durch Ausnutzung der Fließeigenschaften des Glases die Abformung von strukturierten Substratoberflächen in Glas mit Standardverfahren der Halbleitertechnologie ermöglicht. Unter Funktionselement wird dabei ein erfindungsgemäß oberflächenstrukturiertes Substrat aus glasartigem Material verstanden, welches in weiterführenden Verfahrensschritten Verwendung findet.

Formgebungsverfahren, z. B. in einkristallinem Silizium sind in der Halbleitertechnologie, als Standardverfahren, weit verbreitet. Für transmissive mikrooptische Bauelemente wie Linsen, optische Gitter oder Strahlformer eignen sich jedoch Halbleitermaterialien nur bedingt. Silizium ist z. B. im sichtbaren Wellenlängenbereich des Lichtes stark absorbierend. So werden optische Bauelemente für Wellenlängen zwischen 380 nm und 760 nm aus glasverwandten Materialien hergestellt. Die zahlreichen vorteilhaften Materialeigenschaften des Glases, wie z. B. ein geringer thermischer Ausdehnungskoeffizient oder hohe mechanische und chemische Stabilität werden auch bei mikromechanischen Bauelementen vorteilhaft eingesetzt. Der Herstellung solcher Bauelemente sind jedoch dahingehend Grenzen gesetzt, dass hinsichtlich der Mikrostrukturierung von glasartigen Materialien nur bedingt geeignete Verfahren zur Verfügung stehen. Insbesondere fallen die Standardverfahren aus der Halbleitertechnologie aus, da für glasartige Materialien keine geeigneten Ätzverfahren mit vergleichbaren Strukturhöhen bekannt sind.

## Stand der Technik

Für die Herstellung von mikrooptischen sowie mikromechanischen Bauelementen werden gemäß dem Stand der Technik mechanische Verfahren wie Schleifen, Sägen, Polieren und Ritzen angewandt (z. B. Echelette-Gitter). Dadurch ist jedoch sowohl die Genauigkeit als auch die Formvariation stark eingeschränkt.

Das für die Massenproduktion von makroskopischen Gegenständen eingesetzte Heißprägen von Glas eignet sich nicht zur Produktion von mikrooptischen oder mikromechanischen Bauelementen im Größenbereich unter einem Millimeter, da es an geeigneten Materialien für die Herstellung der Prägeformen mangelt und das Ablösen des Glases von der Prägeform zu schlechten Oberflächenqualitäten führt.

Ein Verfahren zur Herstellung von Mikrooptiken beruht auf der Erzeugung von dreidimensionalen Strukturen in Lack mit Hilfe der Grautonlithographie sowie anschließender Übertragung der Struktur in das darunter liegende Glassubstrat mit einem RIE-Plasmaprozess (US 5310623). Ein weiteres Verfahren zur Herstellung von Mikrolinsen sowie Mikrolinsenarrays benutzt Lackarrays, die angeschmolzen werden und somit linsenförmige Topographien ausbilden, die darauf hin mit einem Ätzprozess in das darunter liegende Substrat übertragen werden. Beide Verfahren sind in der Bauelementhöhe auf einige zehn Mikrometer und damit auch in der lateralen Dimension beschränkt. Außerdem erhöht der Ätzprozess die Oberflächenrauigkeit.

## Gelöste Aufgabe

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde Verfahren zur Fertigung von mikromechanischen und mikrooptischen Bauelementen und/oder Funktionselementen aus Glas oder glasartigen Materialien anzugeben, welche die präzise und

kostengünstige Formgebung der Elemente bis in den sub-µm-Bereich ermöglichen, wobei die Höhe der Elemente bis zu einigen hundert Mikrometer betragen kann sowie mit dem Verfahren hergestellte Elemente bereitzustellen.

## Beschreibung

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird die Aufgabe durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Mit dem Verfahren hergestellte Bauelemente und/oder Funktionselemente sind in den Ansprüchen 11 bis 16 angegeben.

Die bevorzugten Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Das erfindungsgemäße Verfahren verwendet Standardlithographie- und Ätzverfahren zur Herstellung von Negativformen (Masterstrukturen) aus einem Substrat, bevorzugt ein Halbleitersubstrat, z. B. aus Silizium. Im Folgenden wird ohne Beschränkung der Allgemeinheit von einem Halbleitersubstrat gesprochen. Durch die Kombination von Standardverbindungstechniken, bevorzugt dem anodischen Bonden mit einem Fließprozess bei erhöhter Temperatur werden die Masterstrukturen in Glas oder glasverwandte Materialien übertragen. Die Negativformen haben eine zu der gewünschten Oberflächenstruktur des Glasmaterials spiegelbildliche Oberflächenstruktur, d. h. dort wo sich auf der Oberfläche des Halbleitersubstrates Vertiefungen befinden werden im Glasmaterial auf der dem Halbleitersubstrat zugewandten Oberfläche Überhöhungen erzeugt. Die Negativformen werden bevorzugt aus einkristallinem Silizium hergestellt. Dazu stehen durch die Kombination von Lithographieprozessen mit naßchemischen isotropen sowie anisotropen Ätzverfahren und diversen Trockenätzverfahren eine große Zahl von Möglichkeiten zur Prozessierung fast beliebiger Oberflächenstrukturen zur Verfügung.

In ähnlicher Weise können optische Linsen mit einer äußerst geringen Oberflächenrauigkeit und einer Größe unter einem Millimeter erzeugt werden. Bei geringeren Temperaturen oder kürzeren Temperzeiten senkt sich das glasartige Material langsam in die Hohlräume auf dem Substrat und bildet definierte, linsenförmige Oberflächen aus. Die Hohlräume können durch Kanalsysteme miteinander verbunden sein, um überall den selben Prozessdruck zu gewährleisten. Die Einsinktiefe, die die Brennweite einer derartig hergestellten Linse bestimmt, kann durch Temperatur, Druck und Temperaturzeit exakt eingestellt werden. Ein anschließender Polierschritt gleicht die auf der vom Substrat abgewandten Seite entstehenden Dellen aus, so dass nach dem Wegätzen des Substrats Mikrolinsen und Mikrolinsenarrays in beliebiger Formvariation auf dem Glas vorhanden sind. Bevorzugt wird für das Verfahren allgemein Bor-Silikat-Glas, z. B. Pyrex®-Glas, eingesetzt. Da dieses ein geringes, der thermischen Ausdehnung von Silizium entsprechendes, thermisches Ausdehnungsverhalten besitzt. Die Verbindung zwischen dem Glas und dem Halbleitersubstrat bleibt dann beim Tempern besonders stabil. Unter glasartigem Material sind jedoch alle Materialien zu verstehen, welche die günstigen Materialeigenschaften von Glas mindestens teilweise besitzen und durch Temperaturerhöhung, und/oder unter Einwirkung einer Druckdifferenz, viskose Fließeigenschaften aufweisen, wie z. B. Glaskeramiken.

Das erfindungsgemäße Verfahren besteht aus der folgenden Prozessfolge:

- Mit herkömmlichen Lithographieprozessen werden digitale oder kontinuierliche Strukturen in einen photosensitiven Lack übertragen, der auf einem Halbleitersubstrat, bevorzugt einem einkristallinen Siliziumwafer, aufgebracht ist. Mit der in der Halbleiterindustrie

üblichen Kontakt- oder Projektionsbelichtung stehen Standardverfahren zur Übertragung von digitalen Strukturen zur Verfügung. Mit Hilfe der Grautonlithographie können fast beliebig geformte Oberflächen strukturiert werden. Nach dem Belichten wird in einem Entwicklerbad das nicht belichtete Lackvolumen entfernt.

- Durch Ätzprozesse wird die Topographie des Lackes auf das Halbleitersubstrat übertragen. Dies kann sowohl durch nasschemische Ätzverfahren (z. B. Ätzen in Bädern welche Wasserstoff-Fluor-Verbindungen enthalten) als auch durch Trockenätzverfahren (Plasma Etch, Reactive Ion Etch) geschehen.

- Das strukturierte Halbleitersubstrat wird mit einem Substrat aus einem glasartigen Material (Glassubstrat), z. B. einem Pyrex®-Wafer bevorzugt mit dem anodischen Bond-Verfahren verbunden, so dass eine hermetisch dichte Verbindung zwischen dem Halbleitersubstrat und dem Glassubstrat entsteht. Dies geschieht unter Vakuum ähnlichen Bedingungen, bzw. unter Unterdruck. Nach dem Bonden ist der Druck, welcher während des Bondens in der Prozesskammer herrschte, in den Vertiefungen der Oberflächenstruktur des Halbleitersubstrats konserviert. Bei der Technik des anodischen Bondens werden zwei hochplanare Substrate auf einer sogenannten Hot Plate erhitzt, wobei es sich um jeweils ein leitendes (z. B. Halbleitersubstrat) und ein nicht leitendes Substrat (z. B. Glassubstrat) handelt. Zusätzlich wird eine Spannung von bis zu 1000 Volt zwischen den Substraten angelegt. Befindet sich der negative Pol am Glassubstrat, so wandern die in der Glasmatrix vorhandenen positiven, beweglichen Ionen (z. B. Bor, Schwefel) in Richtung Kathode. Die unbeweglichen, ortsfesten Sauerstoffionen bilden an der Grenze zum Halbleitersubstrat eine negative Raumladungszone. Die resultierende elektrostatische Kraft führt zu einem engen Kontakt der beiden angrenzenden Substratoberflächen. Zusammen mit der Wirkung erhöhter Temperatur führt dies zur Bildung von chemischen Bindungen zwischen den Atomen der Leiter- und Nichtleitersubstrate. Wird zusätzlich eine äußere Anpresskraft auf die Substrate ausgeübt, so führt dies zu einer Verstärkung der Bindung.

- Durch anschließendes Tempern, bevorzugt bei Normaldruck, wird das Glasmaterial über dessen Glaskamperatur erhitzt. Das Glasmaterial füllt dabei, resultierend aus seinen dann plastischen Eigenschaften, die Öffnungen in der strukturierten Oberfläche des Halbleitersubstrats aus. Die Temperzeit und -temperatur muss dabei so groß sein, dass, bei den gegebenen relativen Druckverhältnissen zwischen dem Druck der Atmosphäre im Temperofen und dem, in den Vertiefungen der Halbleitersubstratoberfläche, konserviertem Druck während des Bondens, das Glasmaterial soweit in die Vertiefungen hineinfließt, dass eine Abformung der Halbleiteroberflächenstruktur erreicht wird. Die treibende Kraft gegen den viskosen Widerstand der plastischen Glasmaterialmasse bildet der in den Öffnungen vorhandene Unterdruck gegenüber der Atmosphäre im Temperofen. Bei identischer Temperatur und Prozesszeit haben die Materialeigenschaften des Glassubstrats den größten Einfluss auf die Ausprägung und Genauigkeit der Abformung. Insbesondere die genaue Zusammensetzung des Glases, wie z. B. die Dotiermenge und -art (z. B. Bor, Phosphor) beeinflussen sein viskoses Verhalten. Weiter hängt das Abformverhalten von der Qualität des Vakuums während des anodischen Bondens ab.

- Durch den Materialfluss können an der vom Halbleitersubstrat abgewandten Oberfläche des Glassubstrats Unebenheiten entstehen. Diese werden sofern sie unerwünscht sind durch Schleif- und/oder Polierprozesse entfernt. Zur Trennung des prozessierten Glassubstrats vom Halbleitersubstrat kann ein Standardätzprozess verwendet werden, bei dem das Silizium komplett weggeätzt wird, und die Glasmatrix erhalten bleibt. Dazu eignen sich verschiedene Chemikalien wie z. B. Tetramethylammoniumhydroxid (TMAH) oder Xenondifluorid ( $\text{XeF}_2$ ).

In einer Prozessvariante können refraktive Linsen und Linsenarrays durch ein teilweises Hineinfließen in eine Siliziumstruktur hergestellt werden. Dazu werden in dem Halbleiterwafer Vertiefungen nass- oder trockenchemisch hineingeätzt, welche so dimensioniert sind, dass die nach dem Tempern die Linsen bildenden Auswölbungen im Glassubstrat die Vertiefungswände nicht berühren. Beim Tempern bevorzugt bei Normaldruck des, unter Vakuum bzw. Unterdruck, mit dem Halbleitersubstrat verbundenen Glassubstrats wird dieses auf 600 bis 800 Grad Celsius aufgeheizt. Im Unterschied zu dem vorherbeschriebenen Prozess wird der Vorgang des Hineinsinkens des Glassubstrats in die vorbereiteten Vertiefungen des Halbleitersubstrats durch abkühlen gestoppt, wenn der gewünschte Grad des Hineinfließens, also die gewünschte z. B. Linsenform, erreicht ist. Anschließend, nach Abkühlen, kann die vom Halbleitersubstrat abgewandte Seite des Glassubstrats planiert werden und die Linsen können durch Abätzen des Halbleitersubstrats freigelegt werden.

Eine weitere Abwandlung des Prozesses ist insbesondere für die Strukturierung mikromechanischer Bauelemente interessant. Beispielsweise kann diese Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens bei der Herstellung von gekrümmten Oberflächen für die Realisierung von effektiven elektrostatischen Aktuatoren für den Betrieb mit niedriger Spannung, wie diese z. B. für den Aufbau von Mikrorelais oder Mikroventilen benötigt werden, zum Einsatz kommen. Dazu kann in vorteilhafter Weise ausgenutzt werden, daß sich beim Hineinfließen des Glasmaterials in die Vertiefungen des Halbleitersubstrats auf der von dem Halbleitersubstrat abgewandten Oberfläche des Glassubstrats, immer sehr glatte und geschwungene Oberflächenformen ausbilden.

In Abwandlung des beschriebenen Verfahrens wird nicht die vom Halbleitersubstrat abgewandte Oberfläche des Glassubstrats nach dem Erkalten planiert, sondern für die Herstellung der mikromechanischen Bauelemente weiter verwendet. Die Oberfläche des Glassubstrats, welches mit dem Halbleitersubstrat verbunden wurde, kann nach wegätzen des Halbleitersubstrats planiert werden. Auf der vom Halbleitersubstrat abgewandten Oberfläche des Glassubstrats werden die weiteren Herstellungsschritte des/der mikromechanischen Bauelements/e aufgebaut. Im Falle eines elektrostatischen Aktuators werden zunächst die Antriebs Elektroden in den geschwungenen Gruben des Glasmaterials hergestellt. Anschließend wird eine dünne Schicht über die Gruben mit diesen Elektroden gespannt und strukturiert. Dies kann beispielsweise durch das anodische Bonden eines Siliziumwafers (z. B. Silicon On Isolator-Wafer) auf die Oberfläche des Glases geschehen, welcher daraufhin bis auf eine dünne Schicht zurückgeschliffen und/oder geätzt wird.

Die auf die beschriebene Weise produzierten Formen in Glas oder glasartigen Materialien können als Funktionselement wiederum eine Masterstruktur für die Herstellung von Präge- und/oder Spritzgussformen, z. B. Nickelformen beim Spritzgussverfahren bilden. Dazu wird bevorzugt die durch teilweises Einfließen des Glases in die Oberflächenstruktur

des Halbleitersubstrats erzeugte Glasform in einem Galvanikprozess in Metall, bevorzugt einer Nickellegierung abgeformt. Das Metall wird dabei auf der abzuformenden Oberfläche aus einer Lösung heraus abgeschieden. Die so hergestellte Metallabformung stellt, nachdem die Glasform abgelöst und/oder weggeätzt ist, die Masterform für im Präge- und/oder Spritzgussverfahren herzustellende oberflächenstrukturierte Produkte aus Materialien die für eine derartige Verwendung geeignet sind, z. B. Kunststoff, dar.

Die Abformung von strukturierten Substratoberflächen, z. B. Siliziumscheibenoberflächen, in Glas stellt ein wichtiges und zukunftsträchtiges Verfahren für die Herstellung von z. B. mikrooptischen Bauelementen dar. Es werden unter Ausnutzung der Oberflächentopographie von einer Masterstruktur, bevorzugt aus Silizium, welche unter Einbeziehung der Vorteile der Halbleitertechnologie hergestellt wird, Strukturen bis in den sub- $\mu$ m-Bereich auf glasartige Materialien exakt übertragen. Die vorteilhaften optischen, mechanischen und chemischen Eigenschaften z. B. von Glas können so den exakten Formgebungsverfahren und den vielfältigen Strukturierungsmöglichkeiten und -prozessen der Halbleitertechnologie zugänglich gemacht werden. Ein weiterer Vorteil ergibt sich aus der Tatsache, dass die Negativform nach Formgebung des Glases durch einen das Glas mechanisch nicht belastenden Ätzprozess entfernt wird. Dadurch lassen sich sehr tiefe Strukturen im Glas realisieren, wie dies aufgrund der mechanischen Belastung beim Prägen nie erreicht werden kann.

Das Verfahren besteht aus einer Kombination von Verfahrensschritten, welche durch die Massenanwendung innerhalb der Halbleitertechnologie durch parallele Fertigung (Batch-Verfahren) besonders kostengünstig, effizient und mit einem hohen Reinheits- und Genauigkeitsgrad angewendet werden. Dadurch übertragen sich diese Vorteile auf das erfindungsgemäße Verfahren.

Die vorliegende Erfindung wird ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen detailliert beschrieben.

Fig. 1 zeigt schematisch die Prozessfolge zur Abformung einer in einem Halbleitersubstrat prozessierten strukturierten Oberfläche auf ein glasartiges Material.

Fig. 2 zeigt schematisch eine Prozessvariante, bei der durch teilweises Hineinfließen des Glasmaterials in auf einem Halbleitersubstrat vorbereitete Vertiefungen beispielsweise ein Linsensystem hergestellt wird.

Fig. 3 zeigt eine Prozessvariante zur Herstellung eines mikromechanischen Bauelements.

Fig. 4 zeigt ein Beispiel für ein nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten mikromechanischen elektrostatischen Aktuator.

In Fig. 1 sind verschiedene Herstellungsstufen einer mikrostrukturierten Glasoberfläche unter Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Abbildung einer strukturierten Siliziumoberfläche dargestellt. Es handelt sich um Herstellungsstufen nach Abschluss der folgenden Verfahrensschritte:

- a) Strukturierung der Oberfläche des Siliziumwafers (1);
- b) Strukturübertragung durch Ätzen des Lacks und der Oberfläche des Siliziumwafers (2);
- c) Anodisches Bonden eines Pyrex®-Glaswafers (3) auf die Siliziumoberflächenstrukturen mit Vertiefungen (4), bevorzugt unter vakuumähnlichen Bedingungen;
- d) Tempern und Hineinfließen des Glases in die Siliziumoberflächenstrukturen unter Überdruckeinwirkung und/oder bedingt durch den Druckunterschied zwischen der Ofenatmosphäre und der in den Silizium-

oberflächenvertiefungen konservierten Druckverhältnisse beim anodischen Bonden;

e) Schleifen und Polieren der vom Silizium abgewandten Oberfläche des Glases nach Erkalten und darauffolgendes Wegätzen des Siliziums in z. B. Tetramethylammoniumhydroxid.

In Fig. 2 sind verschiedene Herstellungsstufen einer mikrostrukturierten Glasoberfläche unter Anwendung einer Abwandlung des erfindungsgemäßen Verfahrens, der Erzeugung eines Mikrolinsenarrays in Glas dargestellt. Es handelt sich um Herstellungsstufen nach Abschluss der folgenden Verfahrensschritte:

- a) Strukturierung der Oberfläche des Siliziumwafers (2) mit Vertiefungen
- b) Anodisches Bonden eines Pyrex®-Glaswafers (3) auf die Siliziumoberflächenstrukturen mit Vertiefungen (4), bevorzugt unter vakuumähnlichen Bedingungen
- c) Tempern und teilweises Hineinfließen des Glases in die Siliziumoberflächenstrukturen, ohne Berührung des Bodens der Vertiefungen im Silizium
- d) Entfernen des Siliziumwafers bevorzugt durch Ätzen
- e) Abschleifen und/oder Polieren der vom Silizium abgewandten Oberfläche des Glas-Wafers

Die Prozessschritte d) und e) können dabei auch in umgekehrter Reihenfolge angewandt werden.

In Fig. 3 sind verschiedene Herstellungsstufen einer mikrostrukturierten Glasoberfläche unter Anwendung einer weiteren Abwandlung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wie es bevorzugt zur Herstellung von mikromechanischen Bauteilen eingesetzt wird, dargestellt. Es handelt sich um Herstellungsstufen nach Abschluss der folgenden Verfahrensschritte:

- a) Strukturierung der Oberfläche des Siliziumwafers (2) mit Vertiefungen
- b) Anodisches Bonden eines geeigneten Glases wie z. B. Pyrex®-Glaswafers (3) auf die Siliziumoberflächenstrukturen mit Vertiefungen (4), bevorzugt unter vakuumähnlichen Bedingungen
- c) Tempern und teilweises Hineinfließen des Glases in die Siliziumoberflächenstrukturen, ohne Berührung der Wände der Vertiefungen im Silizium
- d) Entfernen des Siliziumwafers bevorzugt durch Ätzen
- e) Abschleifen und/oder Polieren der Oberfläche des Glas-Wafers, welche mit dem Siliziumwafer verbunden war.

Die Prozessschritte d) und e) können dabei auch in umgekehrter Reihenfolge angewandt werden oder es kann ganz auf sie verzichtet werden.

In Fig. 4 ist ein mikromechanischer elektrostatischer Aktuator im Querschnitt dargestellt, wie er beispielsweise als Mikroventil oder Mikrorelais zum Einsatz kommt und nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt wird. Dazu wird die Prozessfolge, wie sie in Fig. 3 dargestellt ist eingesetzt. Der elektrostatische Aktuator besteht aus einem Glassubstrat (3) mit einer erfindungsgemäß hergestellten Vertiefung (4). Mit einem Standardverfahren der Halbleitertechnologie werden bevorzugt metallische gekrümmte Elektroden (6) in den Vertiefungen als Schicht aufgebracht. Daraufhin wird eine elektrisch leitfähige elastische Membran (Aktor) über die Vertiefungen mit den Elektroden gespannt. Dies kann durch anodisches Bonden eines Siliziumwafers

oder eines Silikon On Isolater (SOI) Wafers auf das Glassubstrat und darauffolgendes Dünnen des Wafers auf eine Dicke von wenigen Mikrometern geschehen. Die Membran besteht dann aus einer gegen die Elektroden mit einer Isolatorschicht (7) isolierten Siliziumschicht (8). Legt man eine Spannung zwischen der Siliziumschicht und den Elektroden an, so wird die Membran an die Elektrode gezogen und das Mikroventil/Mikrorelais geschaltet.

#### Bezugszeichenliste

- 1 Photolack
- 2 Siliziumwafer, im Allgemeinen erstes Substrat
- 3 Glässubstrat
- 4 Oberflächenstruktur des ersten Substrats, mit Vertiefungen
- 5 Vertiefung
- 6 metallische gekrümmte Elektrode
- 7 Isolatorschicht
- 8 Siliziumschicht

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Strukturierung von Oberflächen glasartiger Materialien, mit den Verfahrensschritten
  - Bereitstellen eines ersten Substrats (2),
  - Strukturierung mit Vertiefungen (4), mindestens einer Oberfläche des ersten Substrats,
  - Bereitstellen eines zweiten Substrates aus glasartigem Material (3),
  - Verbinden des ersten Substrats mit dem zweiten Substrat aus glasartigem Material, wobei eine strukturierte Oberfläche des ersten Substrats mit einer Oberfläche des glasartigen zweiten Substrats mindestens teilweise überdeckend zusammengeführt wird,
  - Tempern der verbundenen Substrate derart, dass ein Hineinfließen des glasartigen Materials in die Vertiefungen der strukturierten Oberfläche des ersten Substrates statt findet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei dem ersten Substrat um ein Halbleitersubstrat und/oder, dass es sich bei dem glasartigen Material um ein Bor-Silikat-Glas handelt.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei dem Halbleitersubstrat um ein Siliziumsubstrat und/oder, dass es sich bei dem Bor-Silikat-Glas um Pyrex®-Glas handelt.
4. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindung des ersten Substrats mit dem zweiten Substrat aus glasartigem Material durch anodisches Bonden geschieht und/oder dass ein während des Verbindungsprozesses herrschender Unterdruck, nach der Verbindung, in den Vertiefungen der Oberfläche des ersten Substrats, zwischen erstem Substrat und dem zweiten Substrat aus glasartigem Material konserviert wird.
5. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass während des Temporns ein Überdruck auf die vom ersten Substrat abgewandte Oberfläche des zweiten Substrates aus glasartigem Material einwirkt.
6. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Tempern das erste Substrat durch Ätzen von dem zweiten Substrat aus glasartigem Material entfernt wird.
7. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Temperprozess durch Steuerung der Temperatur und der Dauer derart

ausgeführt wird, dass das Hineinfließen des glasartigen Materials in die Vertiefungen des ersten Substrats bei einer gewünschten Einfließtiefe gestoppt wird, ohne dass das eingeflossene glasartige Material den Boden der Vertiefungen berührt.

8. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Druck während und/oder die Temperatur und/oder die Dauer des Temperprozesses derart gewählt werden, dass eine Abformung der strukturierten Oberfläche des ersten Substrats auf der Oberfläche des zweiten Substrats aus glasartigem Material vorgenommen wird.

9. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Tempern oder nach dem Wegätzen des ersten Substrates eine Oberfläche des Glassubstrates durch Schleifen und/oder Polieren planiert wird.

10. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Verfahrensschritte, Erstellen einer Negativform mindestens einer der strukturierten Oberflächen des glasartigen Substrats oder Teilen davon aus Metall mittels eines Galvanikprozesses und Entfernen des glasartigen Substrats von der Negativform aus Metall, nachfolgend durchgeführt werden.

11. Präge- und/oder Spritzgussform aus Metall, dadurch gekennzeichnet, dass diese nach dem Verfahren des Anspruches 10 hergestellt ist.

12. Präge- und/oder Spritzgussform nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei dem Metall um eine Nickellegierung handelt.

13. Optisches und/oder mechanisches Bauelement mit einem nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 9 hergestellten oberflächenstrukturierten glasartigen Substrat oder Teilen eines solchen Substrats.

14. Linse oder Linsenarray nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Stoppen des Hineinfließens des glasartigen Materials in die Vertiefungen des ersten Substrats bei einer gewünschten Einfließtiefe, ohne dass das eingeflossene glasartige Material den Boden der Vertiefungen berührt, die von dem ersten Substrat abgewandten Oberfläche des zweiten Substrates aus glasartigem Material durch Schleifen und/oder Polieren planiert ist.

15. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass auf der vom ersten Substrat abgewandten Seite, während des Temporns, entstandene Vertiefungen im zweiten Substrat aus glasartigem Material vorhanden sind.

16. Mikromechanisches Ventil oder Relais nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass in den, auf der vom ersten Substrat abgewandten Seite, während des Temporns entstandenen Vertiefungen im zweiten Substrat aus glasartigem Material Elektroden angeordnet sind und die Vertiefungen mit einer elektrisch leitfähigen elastischen Membran überspannt sind.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

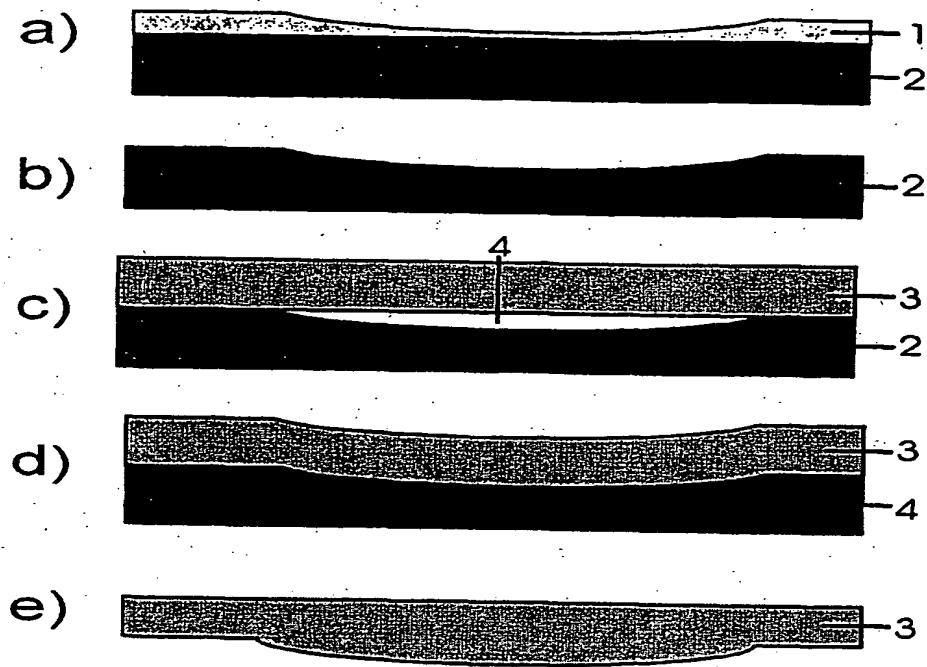
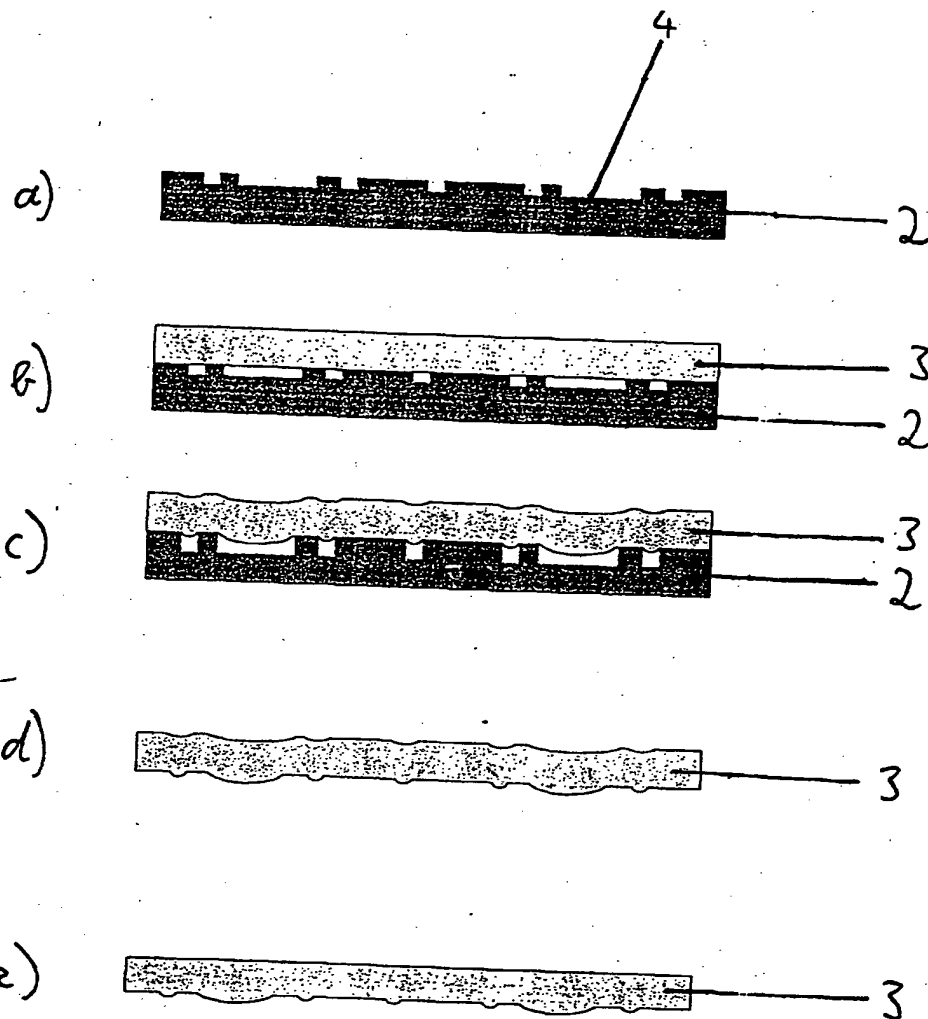


Fig. 1



D fne Ala  
Voku

Fig. 2:



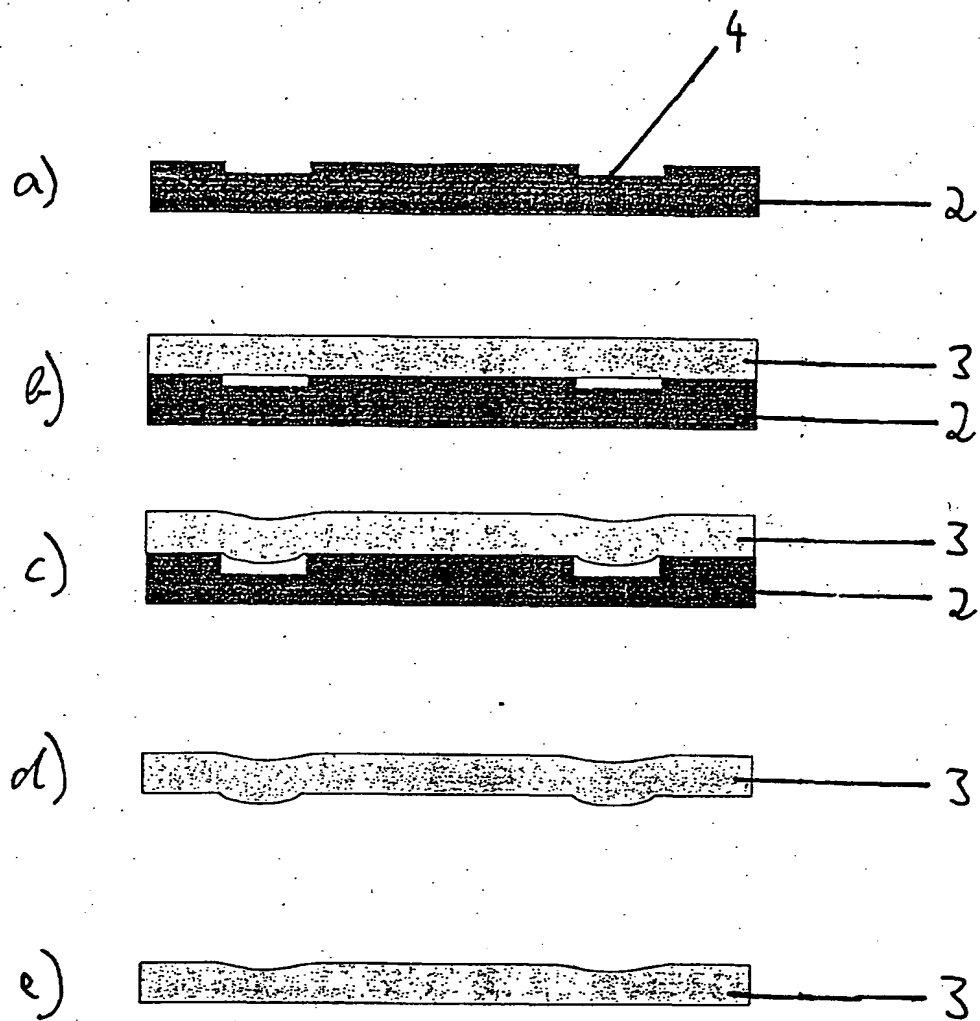


Fig. 3:

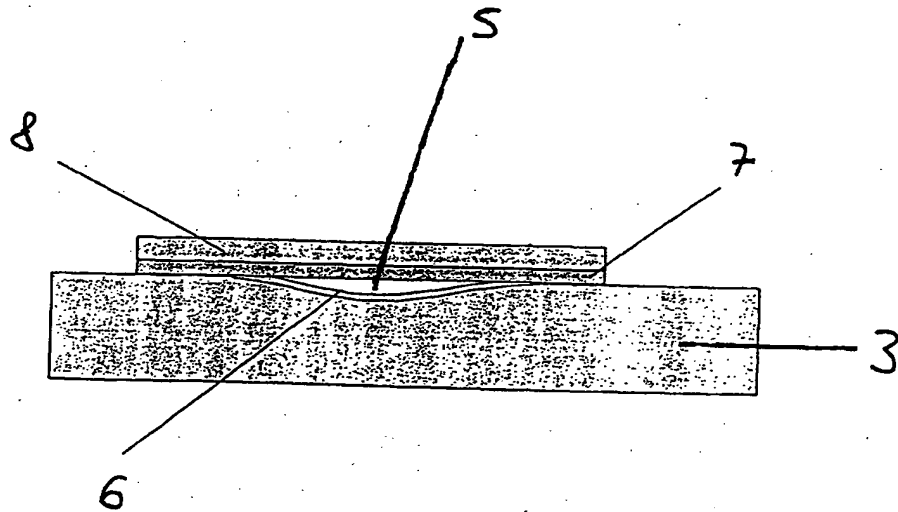


Fig. 4:

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☒ FADED TEXT OR DRAWING

☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**